

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-175920

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月2日

(51) Int.Cl.⁶

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 有 請求項の数13 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平9-335501

(22) 出願日

平成9年(1997)12月5日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 石綿 延行

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 柘植 久尚

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 松寺 久雄

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 稲垣 清

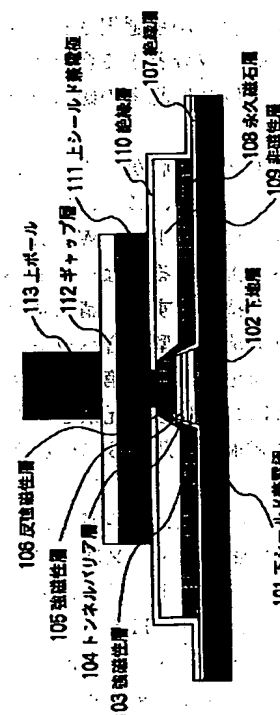
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果型複合ヘッドおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 TMR素子を用いた高密度な磁気記録再生に適した磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 磁気抵抗効果型複合ヘッドは、スライダ上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、この双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果(以下、MRと記す)素子とから成る再生ヘッドを有する。記録ヘッドは、第1の磁気シールド膜を一方の磁極膜と兼用し、この磁極膜の磁気抵抗効果素子と反対側に、絶縁体で挟まれたコイルと第2の磁極とが第1の磁極膜に対して積層される。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 スライド上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、該双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と呼ぶ）とを有する再生ヘッドと、前記第2の磁気シールドを第1の磁極膜とし、該第1の磁極膜と磁気ギャップを挟んで対向する第2の磁極膜を有し、前記再生ヘッドに隣接して配設された記録ヘッドとを備える磁気抵抗効果型複合ヘッドにおいて、前記MR素子が、

前記第1及び第2の磁気シールドを電極とし該第1及び第2の磁気シールドの面間にほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を生じさせる第1の強磁性層及び第2の強磁性層と、該第1及び第2の強磁性層の間に配設されたトンネルバリア層とを有する強磁性トンネル接合磁気抵抗効果膜（以下、TMR膜と記す）から成る中央領域と、

前記中央領域を両側から挟み込むように配設され、該中央領域にバイアス磁界を供給する端部領域とから構成されることを特徴とする磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項2】 前記TMR膜が、下地層、前記第1の強磁性層、前記トンネルバリア層、前記第2の強磁性層、及び、反強磁性層をこの順に備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項3】 前記TMR膜が、下地層、反強磁性層、前記第1の強磁性層、前記トンネルバリア層、前記第2の強磁性層、及び、非磁性導電層をこの順に備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項4】 前記反強磁性層が、 $Mn-X$ （ X はCr、Fe、Co、Ni、Tc、Ru、Rh、Pd、Re、Os、Ir、Ptから選択される少なくとも1種類の元素を含む）を主成分とする合金であることを特徴とする、請求項2又は3に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項5】 前記下地層が、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Siから選択される少なくとも1種類の元素を主成分とすることを特徴とする、請求項2乃至4の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項6】 前記第1及び第2の強磁性層が、Fe、Co、Ni、又は、これらの元素を含む合金であることを特徴とする、請求項1乃至5の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項7】 前記磁気シールドが、Fe、Co、Niを主成分とする軟磁性合金、又は、 $Co-M$ （ M はTi、V、Cr、Fe、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする非晶質軟磁性合金、又

は、 $T-A-B$ （ T はFe、Co、Niから選択される少なくとも1種類の元素、 A はTi、V、Cr、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素、 B はB、C、N、Oから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする軟磁性合金、又は、 $Fe-Si-Al$ を主成分とする軟磁性合金であることを特徴とする、請求項1乃至6の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項8】 前記TMR膜と前記第2の磁気シールドとが電気的に結合する面積が、前記TMR膜の前記第2の磁気シールドと対向する面の面積以下であることを特徴とする、請求項1乃至7の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項9】 前記中央領域と前記端部領域との接合面に絶縁体が介在することを特徴とする、請求項1乃至8の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項10】 前記端部領域が、前記第1の磁気シールド側から順次に配設された非磁性絶縁膜、永久磁石膜、及び、非磁性膜を備えることを特徴とする、請求項1乃至9の何れかーに記載の磁気抵抗効果型複合ヘッド。

【請求項11】 スライド上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、前記TMR素子を覆い、かつ、中央領域上で再生トラック幅を決定するパターンニングがなされた絶縁膜を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、

前記TMR素子を形成する工程が、前記TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、前記端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを含むことを特徴とする、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【請求項12】 前記パターンニングがなされた絶縁膜を形成する工程が、絶縁膜を成膜する工程と、該絶縁膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記絶縁膜をリフトオフする工程とを有することを特徴とする、請求項11に記載の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【請求項13】 スライド上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、

て、前記TMR素子を形成する工程が、TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトレジストマスクを形成する工程と、該フォトレジストマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、端部領域を前記フォトレジストマスクによってリフトオフする工程とを有することを特徴とする、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気ディスク装置等に使用される薄膜磁気ヘッドに関し、特に強磁性トンネル接合による磁気抵抗効果を利用した磁気記録再生ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気記録装置の小型化、大容量化にともなう、再生出力が大きな磁気抵抗効果型ヘッド（以下、MRヘッドと記す）が実用化している。MRヘッドについては、「A Magnetoresistivity Readout Transducer」(IEEE Trans. on Magn., MAG7 (1971) 150) に述べられている。

【0003】従来のMRヘッドを改善し、更に大幅な高出力化を実現できる巨大磁気抵抗効果（以下、GMRと記す）を用いたGMRヘッドがある。このGMRでは、抵抗変化が2枚の隣接する磁性層の磁化方向間の余弦と対応する、一般にスピバルブ効果と呼ばれる磁気抵抗効果を利用しており、小さな動作磁界で大きな抵抗変化が得られる。スピバルブ効果を用いたMRヘッドについては「Design, Fabrication & Testing of Spin-Valve Read Heads for High Density Recording」(IEEE Trans. on Magn., Vol. 30, No. 6 (1994) 3801) に記載がある。しかしながら、実際のMRヘッドに適用できるスピバルブ効果による磁気抵抗変化率は数%にすぎず、高密度記録を推進するために必要な狭トラック化に際しては、より抵抗変化量の大きな磁気抵抗効果が求められている。

【0004】強磁性トンネル接合は、二つの強磁性層の間に数nm厚の薄い絶縁体からなるトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ。この構成により、強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層面内に外部磁界を印加した場合に、両磁性層の磁化の相対角度に応じて抵抗値が変化する磁気抵抗効果現象が現れることから、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（TMR）と呼ばれている。この磁化の向きが平行であるときには抵抗値が最小となり、反平行であるときには抵抗値が最大となる。従って、両磁性層に保磁力差を付与することによって、磁界の強さに応じて磁化の平行及び反平行状態を実現できるため、

抵抗値の変化による磁界検出が可能となる。

【0005】近年、トンネルバリア層にAlの表面酸化膜を用いて20%近い磁気抵抗変化率を示すTMR素子を得たことで、磁気ヘッドや磁気メモリへの応用の可能性が高まってきた。Journal of Applied Physics, Vol. 79, Page 4724~4729, 1996にこのような大きな磁気抵抗変化率の例が述べられている。

【0006】すなわち、蒸着マスクを用いてガラス基板上にCoFeからなる第1の強磁性層を真空蒸着し、引き続きマスクを交換して1.2~2.0nm厚のAl層を蒸着する。このAl層表面を酸素グロー放電に曝すことによって、Al₂O₃からなるトンネルバリア層を形成する。最後に、このトンネルバリア層を介して第1の強磁性層と重なるように、Coからなる第2の強磁性層を成膜して、十字電極型の強磁性トンネル接合素子を完成させる。この方法では、磁気抵抗変化率として最大18%という大きな値が得られている。

【0007】その他の記載例として、特開平5-63254、特開平6-244477、特開平8-70148、特開平8-70149、特開平8-316548及び「1997年、日本応用磁気学会誌、21巻、493~496頁」などがあり、トンネルバリア層の形成方法として、Al層を成膜した後に、大気中に曝してAl₂O₃を成長させる方法が述べられている。

【0008】TMR素子を磁気ヘッドや磁気メモリなどのデバイスに適用するためには、熱雑音の影響を低減する必要があり、この場合、実用素子寸法で或る程度低い抵抗値が必要である。しかし、従来のトンネルバリア形成法ではその実現が困難であった。また、高密度化に対応した磁気ヘッドへの応用では、信号出力電圧の大きさが鍵を握るが、従来技術では素子特性を損なうことなく十分な電流密度が得られないという問題もあった。さらに、従来技術ではウエーハ内やロット間の素子特性のばらつきが大きく、実用に供するだけの十分な製造歩留まりを得ることは難しかった。

【0009】上述の問題は、主に従来のトンネルバリア層の形成方法に起因すると考えられる。酸素グロー放電を用いる方法では、イオンやラジカル状態の活性酸素を導電層の酸化に用いるため、薄い酸化膜厚の制御すなわち素子抵抗の制御が難しいといった問題や、同時に発生する活性化された不純物ガスによってトンネルバリア層が汚染されて接合品質が劣化するという問題がある。一方、大気中での自然酸化による方法では、大気中の粉塵でトンネルバリア層にピンホールが生じ、更には、水分、炭素酸化物、窒素酸化物等の汚染を受けるなど、酸素グロー放電と同様に、多くの問題があった。

【0010】特願平9-209292には、実用に必要な抵抗値及び信号出力電圧特性を備え、製造歩留まりを改善したTMR素子の製造方法として、第1の強磁性層、トンネルバリア層、第2の強磁性層を真空中で連続

形成する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後に、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを有する方法が述べられている。

【0011】さらに、特願平9-209292では、第1の強磁性層、トンネルバリア層、第2の強磁性層を真空を維持しつつ連続形成する工程と、前記第1の強磁性層を成膜した後に、真空を維持しつつ酸素を導入してこの第1の強磁性層表面を酸化する工程と、金属または半導体からなる導電層を成膜した後に、真空中に酸素を導入し、この導電層表面を自然酸化してトンネルバリア層を形成する工程とを含むTMR素子の製造方法が記載されている。

【0012】図11を参照して、特願平9-209292の述べられたTMR膜の製造方法を説明する。下地層10、第1の強磁性層11、導電層12を真空中で連続成膜した後に（図11(a)）、真空を破ることなく純酸素を導入し、導電層12の表面を自然酸化してトンネルバリア層13を形成する（図11(b)）。なお（図11(b)）は、導電層の酸化後でも第1の強磁性層11との界面に導電層の未酸化部分が残されている場合を示しているが、酸化条件次第で完全に酸化させることも可能である。酸素を排気した後に、第2の強磁性層14を成膜してTMR膜の基本構造を完成させる（図11(c)）。次に、反強磁性層15を成膜してTMR素子の基本構造を完成させる（図11(d)）。

【0013】上記公報記載の方法では、不純物ガスの影響を受けない清浄な雰囲気中で熱平衡状態を保ったまま酸化層の成長が可能であるため、高品質のトンネルバリア層を制御性よく形成することができる。また、酸素圧力や基板温度の制御によって磁気ヘッドなどのデバイス応用に必要な低抵抗値及び高電流密度の素子を得ることができる。さらに、ウエーハ内の素子特性の均一性やロット間の再現性に優れた素子が得られる。強磁性層にFe、Co、Niまたはそれらを含む合金を用いた場合には、導電層として強磁性層の表面自由エネルギーより小さな値を持つAlを選択することにより、下地となる第1の強磁性層に対して良好な被覆性が可能となる。その結果、完成された素子ではピンホールによる強磁性層間の電氣的ショートのない良好な特性が得られる。また、Alの酸素一原子当たりの生成自由エネルギーはFe、Co、Niよりも大きいので、トンネルバリア層となる Al_2O_3 は接合界面で熱的に安定する。導電層にMgやランタノイドに属する金属を選択した場合には、同様な理由から下地となる第1の強磁性層11に対する良好な被覆性ととも、さらに熱的に安定なトンネルバリア層が得られる。

【0014】図12を参照して、特願平9-209292に述べられたTMR素子の従来の製造工程を説明する。第1の強磁性層11を成膜した後に（図12

(a)）、真空中に酸素を導入して、この表面に酸化層21を形成する工程を加えると（図12(b)）、次の工程で導電層12を成膜する際に第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり（図12(c)）、導電層12側にも酸化層23が形成される。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため（図12(d)）、より熱安定性に優れた素子を実現される。酸素を排気した後、第2の強磁性層14を成膜し（図12(e)）、反強磁性層15を成膜してTMR素子の基本構造を完成させる（図12(f)）。導電層12側に安定な酸化層を形成するためには、導電層12の酸素一原子当たりの生成自由エネルギーが第1の強磁性層11を構成する元素よりも大きいことが必要である。強磁性層にFe、Co、Niまたはそれらを含む合金を用いた場合には、導電層12としてAl、Mg、ランタノイドに属する金属を用いることが有効である。

【0015】図10は、従来のTMR素子を用いた磁気ヘッドのABS面の構造の一例を示すもので、日経エレクトロニクス1997.4.7(No. 686)に述べられている。TMR膜とその両端部に形成された電極からなるTMR素子は、絶縁膜を介して磁気シールド内に存在している。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】図10に示されている構造の装置では、再生ヘッドの分解能を決定する磁気シールド間には、絶縁膜117、TMR膜及び上下電極膜118からなるTMR素子119が存在するため、TMR素子と上下の磁気シールドとの十分な絶縁を保ちながらシールド間隔を狭くすることが必要である。しかしながら、絶縁膜の薄膜化は非常に困難であり、またTMR素子の厚さ以下にはシールド間隔を狭められないという構造的な限界がある。さらに、狭トラック化に際しては、左右の電極をTMR膜の上下でバタニングし、電極間隔をサブミクロンとすることはフォトリソを用いたプロセスにとっては非常に困難であった。さらに、TMR素子の微細化によるノイズの増大に対しては何らかのバイアス磁界を印加しなければならない。

【0017】本発明の目的は、以上の従来の技術における欠点を除いて、高線密度化を実現するための分解能化と、高トラック密度化を実現するための狭トラック化とを実現する、高密度記録再生用のTMR素子を用いた記録再生用ヘッドとその製造方法とを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置は、スライダ上に順次に積層された第1及び第2の磁気シールドと、該双方の磁気シールドの間に配設された磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と呼ぶ）とを有する再生ヘッドと、前記第2の磁気シールド

を第1の磁極膜とし、該第1の磁極膜と磁気ギャップを挟んで対向する第2の磁極膜を有し、前記再生ヘッドに隣接して配設された記録ヘッドとを備える磁気抵抗効果型複合ヘッドにおいて、前記MR素子が、前記第1及び第2の磁気シールドを電極とし該第1及び第2の磁気シールドの面間にほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を生じさせる第1の強磁性層及び第2の強磁性層と、該第1及び第2の強磁性層の間に配設されたトンネルバリア層とを有する強磁性トンネル接合磁気抵抗効果膜（以下、TMR膜と記す）から成る中央領域と、前記中央領域を両側から挟み込むように配設され、該中央領域にバイアス磁界を供給する端部領域とから構成されることを特徴とする。

【0019】また、本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法は、第1の視点において、スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、前記TMR素子を覆い、かつ、中央領域上で再生トラック幅を決定するパターンニングがなされた絶縁膜を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、前記TMR素子を形成する工程が、前記TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、前記端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを含むことを特徴とする。

【0020】本発明の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法は、第2の視点において、スライダ上に第1の磁気シールドを形成する工程と、強磁性トンネル接合磁気抵抗効果（以下、TMRと呼ぶ）膜からなる中央領域と該TMR膜にバイアス磁界を印加する端部領域とを有するTMR素子を形成する工程と、第2の磁気シールドを形成する工程とを含む、磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法であって、前記TMR素子を形成する工程が、TMR膜を成膜する工程と、該TMR膜上にフォトリソマスクを形成する工程と、該フォトリソマスクによって前記TMR膜をパターンニングする工程と、端部領域を前記フォトリソマスクによってリフトオフする工程とを有することを特徴とする。

【0021】
【発明の実施の形態】図面を参照して本発明をさらに詳細に説明する。

【0022】実施形態例1
図1は、本発明の第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドを、その媒体と対向する面（エアベアリング面。以下、ABS面と略す）から見た積層構造図である。本ヘッドは、スライダ上に順次に積層された2層の

対向する磁気シールドS1（101）及びS2（111）と、この二層の対向する磁気シールドS1及びS2間に配設されたTMR素子とから成る再生機能を有するヘッドを有する。更に、一方の磁気シールドS2を一方の磁極膜P1と兼用し、この磁極膜P1の磁気抵抗効果素子と反対側に、絶縁体で挟まれたコイルともう一方の磁極P2（113）とが積層され、双方の磁極P1及びP2間に設けられた磁気ギャップ112に発生する磁界による記録機能を有するヘッドを有する。

【0023】上記複合素子は以下のように得られる。まず、下シールドS1側から順次に、30nm厚のTa膜102、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着する。その後、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成する。その後、Co-Fe膜からなる第2の強磁性層105、及び、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜106をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。TMR膜の積層後に、スパッタ蒸着によりアルミナからなる非磁性絶縁層107、CoCrPtからなる永久磁石層108、及び、Taからなる非磁性層109を形成する。この構成によると、TMR膜をパターン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2層の磁性層どうしが電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。さらに、絶縁層110をスパッタ蒸着し、上シールド111として膜厚3μmのNi-Fe膜をフレームめっき法でパターン形成し、アルミナによる磁気ギャップ112形成し、次いで、フレームめっき法によりCuコイルを形成し、さらに記録用の上磁極113として4μmのNi-Fe膜をフレームめっき法にて形成する。

【0024】TMR素子は、磁気シールドS1およびS2を電極とし、磁気シールドS1およびS2の面間にほぼ垂直方向に流れる電流によって磁気抵抗効果を生じさせる第1の強磁性層と第2の強磁性層との間にトンネルバリア層を挟んだ構造を持つ強磁性TMR膜からなる中央領域と、この中央領域を左右から挟み込むようにして積層する、バイアス磁界を供給する端部領域とから構成されている。

【0025】上記構造を採用したことにより、TMR素子にバイアス磁界を印加することが出来るので、高い分解能を有し、高トラック密度、狭トラック化を実現できる。

【0026】以下に、本実施形態例のヘッドの製造プロセスを更に詳細に説明する。スライダを構成するAl₂O₃-TiC複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚1μmのCoTaZr膜を形成し、下シールドS1（101）としてパターン化した。このCoTaZr膜の形成時には図1左右方向に一方向性の磁

界を印加した。この後、この磁気異方性方向に5000eの一方方向磁界を印加しつつ350℃で1時間の初期熱処理を行った。次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、3.0nm厚のTa膜(102)、1.0nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層(103)、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグラウンド圧力 1×10^{-7} Torr以下、Ar圧力10mTorr、高周波電力200Wとした。次に、スパッタ装置内に酸素を導入し、酸素圧力を2.0mTorr～20.0Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層(104)を形成した。酸素を排気してバックグラウンド圧力に到達した後、2.0nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層(105)、及び、2.0nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0027】その後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図1のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3kOeの一方方向磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先に下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。しかしながら、下シールドであるCoTaZr膜は予め350℃で熱処理されているため、この熱処理を行っても、その磁化容易軸方向は変化することなく、異方性磁界Hkとしては80eと磁気シールドとしては十分な大きさを保っていた。次に、TMR膜をパターン化して形成する中央領域とその両端の端部領域を形成した。

【0028】実施形態例2

図2は、本発明の第2の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造図である。TMR膜は、下地層102、反強磁性層106、第1の強磁性層105、トンネルバリア層104、第2の強磁性層103、非磁性導電層114から構成される。第2の実施形態例は、TMR膜の構造が第1の実施形態例とは異なる。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、3.0nm厚のTa膜102、2.0nm厚のPt-Mn膜からなる反強磁性膜106、2.0nm厚のCo膜からなる第1の磁性層105、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104の形成に使用したスパッタ装置、スパッタ条件は実施形態例1と同様である。酸素を排気してバックグラウンド圧力に到達した後、1.0nm厚のNi-Fe-Co膜からなる第2の強磁性層103、及び、膜厚3.0nmのTaからなる非磁性導電層114を連続してスパッタ蒸着しTMR膜を完成させた。この後の、第2の強磁性層114の磁化を図2の

ABS面に対して垂直方向に固定するための工程及び条件は実施形態例1と同様である。TMR膜の構成以外は実施形態例1と同様であり、実施形態例1と同様の効果を実現できる。

【0029】実施形態例3

図3は、本発明の第3の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造図である。TMR膜は、下地層102、第1の強磁性層103、トンネルバリア層104、第2の強磁性層105、及び、反磁性導電層106からなる構成を有する。第3の本実施形態例は、TMR膜と上シールド111との接合部がABS面に露出しないことにおいて第1の実施形態例と異なる。これは、絶縁膜110をリフトオフする際のTMR膜のトラック幅を決定するマスクを、ABS面に対してTMR膜端面が奥に位置するように設計するだけで良い。このTMR膜端面のABSからの距離は0.1μmから1μmである。TMR膜の構成以外は実施形態例1と同様であり、実施形態例1と同様の効果を実現できる。

【0030】上記第1～第3の実施形態例のそれぞれのTMR素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工しジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った。このとき、永久磁石を3kOeの磁界によって着磁した。本試作における磁気抵抗変化率は約15%であった。磁気抵抗変化率は電流密度を増加させても 10^3 A/cm²までは全く変化が認めなかった。 5×10^3 A/cm²でも抵抗値の変化はほとんど無く、磁気抵抗変化率も約10%の減少に止まっていた。TMRヘッドの信号出力電圧としては、実施形態例1及び2共に 10^3 A/cm²の電流密度で約1mVであり、 5×10^3 A/cm²で第1及び第2実施形態例では約3mV、第3の実施形態例では約2mVであった。第1及び第2の実施形態例共に、これら素子を再生磁気ヘッドに用いた場合に、前者は3Gb/in²以上の記録密度に、後者は30Gb/in²以上の記録密度に各々対応できることになる。第3の実施形態例では、ABS面に対してTMR膜と上シールド111との接合部が奥に位置する構造となっているために、ABS面と媒体表面とが接触した場合にも、接触による発熱に起因するノイズのない安定な動作が実現した。

【0031】実施形態例4

図4は、上記第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドのTMR膜の製造工程を示す。スライダを構成するAl₂O₃-TiC複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚1μmのFeTa₂N膜を形成し、下シールドS1としてパターン化し、(図4(a))、熱処理を500℃で1時間真空中で行った。この際に、図4の左右方向に一方方向性の磁界を印加した。

【0032】次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した(図4(b))。TMR膜としては、ま

ず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグランド圧力 1×10^{-7} Torr以下、Ar圧力1.0mTorr、高周波電力200Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20mTorr~200Torrの範囲で1.0分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグランド圧力に到達した後、20nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層105、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0033】TMR膜をボタン化し中央領域を形成し、その両端の端部領域となる絶縁膜/永久磁石膜(PM)/非磁性膜を成膜しリフトオフする工程(図4(c))、中央領域と端部領域からなる素子をボタン化する工程(図4(d))、TMR膜のトラック幅を規定する絶縁膜をリフトオフする工程(図4(e))、(図4(f))を実施した。

【0034】図8は、TMR膜の積層後に行うTMR膜のボタン化工程を示す。図4の方法でTMR膜1101を形成し(図8(a))、フォトレジストマスク1102を形成し(図8(b))、イオンビームを用いてパタニングした(図8(c))。このレジストをそのままにしてスパッタ蒸着により、アルミナからなる非磁性絶縁層1104、CoCrPtからなる永久磁石層1105、及び、Taからなる非磁性層1106を形成し(図8(d))、リフトオフした(図8(e))。この方法によると、TMR膜をボタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2枚の磁性層同士が電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。さらに、前記のフォトレジストマスク1102に対して同等もしくは幅狭のフォトレジストマスク1107を形成し(図8(f))、絶縁層1108をスパッタ成膜し(図8(g))、リフトオフして完成した(図8(h))。その後、下シールドの一部を電極として取り出すために絶縁膜に穴を開け(図4(g))、さらに上シールドとして膜厚3 μ mのNi-Fe膜をフレームメッキ法でボタン形成した(図4(h))。

【0035】その後、アルミナによる磁気ギャップ形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルはフォトレジストにより上下を挟まれて絶縁したが、まず、下側の絶縁体となるフォトレジストボタンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレームメッキ法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトレジストボタンを形

成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。更に、記録ヘッドの上磁極を構成する膜厚4 μ mのNi-Fe膜をフレームメッキ法で形成した。上磁極を形成後に、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1kOe印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異方性が安定化した。次に再生部や記録部の電極の引き出しボタンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層およびこれと接する強磁性層の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3kOeの一方方向磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

【0036】図11の従来技術の製造方法によっても第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドのTMR膜の形成は可能である。本実施形態例によれば、図11の下地層10としてTa、第1の強磁性層11としてNi-Fe、導電層12としてAl膜を形成し(図11(a))、真空中にて純酸素を導入し、導電層12の表面を自然酸化してトンネルバリア層13を形成する(図11(b))。次いで、第2の強磁性層14としてCo-Feを成膜し(図11(c))、反強磁性層15としてNi-Mnを成膜して(図11(d))、TMR素子の基本構造を完成させる。その他の製造装置、工程の順序、処理条件等については従来技術と同様に行われる。

この方法では、不純物ガスの影響を受けない清浄な雰囲気中で熱平衡状態を保ったまま酸化層の成長が可能であるため、高品質のトンネルバリア層を制御性よく形成することができる。また、酸素圧力や基板温度の制御によって必要な低抵抗値及び高電流密度の素子を得ることができる。さらに、ウエーハ内の素子特性の均一性やロット間の再現性に優れた素子が得られる。

【0037】図12の従来技術の製造方法によっても第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置のTMR膜の形成は可能である。図12の下地層10としてTa、第1の強磁性層11としてNi-Feを成膜後(図12(a))、真空中に酸素を導入してこの表面に酸化層21を形成する工程(図12(b))を加える。次の工程で導電層としてAl膜12を成膜する際に、第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり、導電層12側にも酸化層23が形成される(図12(c))。

導電層12を成膜後、真空を維持しつつ純酸素を導入すると、導電層12の表面の自然酸化層に、裏面からの酸素拡散で酸化された層を加えたトンネルバリア層24が形成される(図12(d))。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため、より熱安定性に優れた素子が実現される。酸素を排気した後に、第2の強磁性層14としてCo-Feを成膜し(図12(e))、反強磁性層15としてNi-Mnを成膜して、TMR素子の基本構造を完成させる(図12(f))。この方法で形成したTMR膜においても、上記と同様の結果が得られる。

【0038】以上の素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工しジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った結果、第1～第3の実施形態例で述べた結果を得た。

【0039】実施形態例5

図5は、本発明の第5の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置を、そのABS面から見た積層構造を示す。実施形態例1との違いは、非磁性層109と上シールド兼電極111との間に、絶縁層110を有しないことである。

【0040】上記の磁気抵抗効果型複合ヘッド装置の構造を以下の製造プロセスによって作製した。スライダを構成する Al_2O_3-TiC 複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚 $1\mu m$ の $CoMoZr$ 膜を形成し、下シールドS1(101)としてパタン化した。この $CoMoZr$ 膜の形成時には、図5の左右方向に一方方向性の磁界を印加した。この後に、この磁気異方性方向に5000eの一方方向磁界を印加しつつ350℃で1時間の初期熱処理を行った。

【0041】次に、スパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、10nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグラウンド圧力 1×10^{-7} Torr以下、Ar圧力1.0mTorr、高周波電力200Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20mTorr～200Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグラウンド圧力に到達した後、20nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層105、及び、20nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜106をスパッタ蒸着してTMR膜を完成させた。

【0042】この後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図5のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3k0eの一方方向磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先に下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。しかしながら、下シールドである $CoMoZr$ 膜は予め350℃で熱処理されているため、この熱処理を行っても、その磁化容易軸方向は変化することなく、異方性磁界 H_k としては80eと磁気シールドとしては十分な大きさを保っていた。次に、TMR膜をパタン化して形成する中央領域とその両端の端部領域を形成するために、アルミナからなる非磁性絶縁層107、 $CoCrPt$ からなる永久磁石層108、Taからなる非磁性層109、をスパッタ蒸着によ

り形成する。この方法によると、TMR膜をパタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被服された後に、永久磁石が形成される。従って、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2層の磁性層どうしが電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。

【0043】さらに図5を参照して、この後の工程を説明する。フレームメッキ法により、上シールド111を構成する膜厚 $3\mu m$ のNi-Fe膜を形成し、アルミナによる磁気ギャップ112形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルをフォトレジストによって上下を挟んで絶縁した。その際、まず、下側の絶縁体となるフォトレジストパタンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレームメッキ法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトレジストパタンを形成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。

【0044】次に、記録ヘッドの上磁極113を構成する膜厚 $4\mu m$ のNi-Fe膜をフレームメッキ法で形成した。上磁極を形成後に、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1k0e印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異方性が安定化した。再生部や記録部の電極の引き回しパタンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層106およびこれと接する強磁性層105の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3k0eの一方方向磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

【0045】実施形態例6

図6は、本発明の第6の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドをABS面から見た積層構造図で、実施形態例2との違いは、非磁性層109と上シールド兼電極111との間に絶縁層110を有しないことである。すなわち、TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30nm厚のTa膜102、20nm厚のPt-Mn膜からなる反強磁性膜106、20nm厚のCo膜からなる第2の磁性層105、及び、2nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。第5の実施形態例と同様のスパッタ装置、条件でAl導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグラウンド圧力に到達した後、10nm厚のNi-Fe-Co膜からなる第1の強磁性層103、膜厚30nmのTaからなる非磁性導電層114を連続してスパッタ蒸着した。この後、第2の強磁性層105と反強磁性層106との間に交換結合磁界を発生させ、第2の強磁性層105の磁化を図2のABS面に対して垂直方向に固定するために、ABS面に対して垂直方向に3k0eの一方方向磁界を印加しつつ270℃で5時間の熱処理を行った。この磁界の方向は先に下シールドを熱処理した時の磁界の方向とは直交している。

【0046】上記第5及び第6の実施形態例のそれぞれ

のTMR素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工し、ジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行った。このとき、永久磁石を3 kOeの磁界によって着磁した。本試作における磁気抵抗変化率は約15%であった。磁気抵抗変化率は電流密度を増加させても 10^3 A/cm^2 までは全く変化が認められなかった。 $5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ でも抵抗値の変化はほとんど無く、磁気抵抗変化率も約10%の減少に止まっていた。TMRヘッドの信号出力電圧としては、 10^3 A/cm^2 の電流密度で約1 mV、 $5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$ で約3 mVであった。この素子を再生磁気ヘッドに用いた場合、前者は3 Gb/in²以上の記録密度に、後者30 Gb/in²以上の記録密度に各々対応できることになる。

【0047】実施形態例7

図7を参照して、本発明の第7の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造方法を説明する。スライダを構成する $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 複合セラミックからなるウエハ基体上に、スパッタ法により膜厚1 μm のFeZrN膜を形成し、下シールドS1としてボタン化した(図7(a))。このFeZrN膜の熱処理を500℃で1時間、真空中で行ったが、この際に図7の左右方向に一方性の磁界を印加した。

【0048】次にスパッタ法により中央領域となるTMR膜を形成した(図7(b))。TMR膜としては、まず下シールドS1側から順に、30 nm厚のTa膜102、10 nm厚のNi-Fe膜からなる第1の強磁性層103、及び、2 nm厚のAl膜からなる導電層を連続してスパッタ蒸着した。この成膜には4インチ直径のターゲット4基を備えた高周波マグネトロンスパッタ装置を用いた。スパッタ条件はすべてバックグラウンド圧力 $1 \times 10^{-7} \text{ Torr}$ 以下、Ar圧力10 mTorr、高周波電力200 Wであった。次に、スパッタ装置内に純酸素を導入し、酸素圧力を20 mTorr~200 Torrの範囲で10分間保持して、Al導電層表面を酸化してトンネルバリア層104を形成した。酸素を排気してバックグラウンド圧力に到達した後、20 nm厚のCo-Fe膜からなる第2の強磁性層105、20 nm厚のNi-Mn膜からなる反強磁性膜をスパッタ蒸着し、TMR膜を完成させた。

【0049】次に、TMR膜をボタン化し中央領域を形成し、その両端の端部領域となる絶縁膜/永久磁石膜(PM)/非磁性膜を成膜しリフトオフする工程(図7(c))、中央領域と端部領域からなる素子をボタン化する工程(図7(d))を実施した。

【0050】図9は、第5及び第6の実施形態例で述べたTMR膜の積層後に行われる、TMR膜のボタン化工程を示す。前記の方法でTMR膜1101を形成し(図9(a))、フォトリソマスク1102を形成し(図9(b))、イオンビームを用いてパタニングした(図9(c))。このレジストをそのままにしてスパッタ蒸着により、アルミナからなる非磁性絶縁層110

4、CoCrPtからなる永久磁石層1105、及び、Taからなる非磁性層1106を形成し(図9

(d))、リフトオフした(図9(e))。この方法によると、TMR膜をボタン化した際の端面が非磁性絶縁層で被覆された後に、永久磁石層が形成される。よって、TMR膜のトンネルバリア層を介して向き合う2枚の磁性層同士が電氣的に短絡することなく、TMR特性が良好に保たれる。その後、下シールドの一部を電極として取り出すための絶縁膜に穴を開ける工程(図7(g))、さらに上シールドとして膜厚3 μm のNi-Fe膜をフレームめっき法でボタン形成した(図7(h))。

【0051】この後、アルミナによる磁気ギャップ形成後、記録磁界発生用コイルを形成した。このコイルはフォトリソにより上下を挟まれて絶縁したが、まず、下側の絶縁体となるフォトリソボタンを前記のアルミナ磁気ギャップ上に形成し、これを260℃で1時間熱硬化した。次にフレームメッキ法によりCuコイルを形成し、上側の絶縁体となるフォトリソボタンを形成した。この熱硬化の際にも260℃で1時間熱処理した。更に、記録の上磁極を構成する膜厚4 μm のNi-Fe膜をフレームメッキ法で形成した。上磁極を形成後、磁気シールドの磁化容易軸方向に磁界を1 kOe印加し、200℃で1時間熱処理した。これにより上磁極の磁気異方性が安定化した。

【0052】次に再生ヘッドや記録ヘッドの電極の引き出しボタンを形成した後、素子全体をアルミナスパッタ膜により保護した。この後に、再度、反強磁性層およびこれと接する強磁性層の磁化を揃えるために、ABS面に垂直方向に3 kOeの一方性磁界を印加しつつ250℃で1時間の熱処理を行った。

【0053】TMR膜の形成を図12に示した従来の方法を用いて行うことができる。同図において、Taによる下地層10上に、Ni-Feからなる第1の強磁性層11を成膜後(図12(a))、真空中に酸素を導入してこの表面に酸化層21を形成する工程(図12(b))を加えると、次の工程でAl膜からなる導電層12を成膜する際に、第1の強磁性層11から導電層12に酸素拡散が起こり、導電層12側にも酸化層23が形成される(図12(c))。導電層12を成膜後、真空を維持しつつ純酸素を導入すると、導電層12の表面の自然酸化層に、裏面からの酸素拡散で酸化された層を加えたトンネルバリア層24が形成される(図12(d))。この方法では、強磁性層に接する両方の界面に導電層12の酸化層24が形成されるため、より熱安定性に優れた素子が実現される。酸素を排気した後、Co-Feからなる第2の強磁性層14を成膜し(図12(e))、Ni-Mnからなる反強磁性層15を成膜して、TMR素子の基本構造を完成させる(図12(f))。この方法で形成したTMR膜においても、上

記と同様の結果が得られる。

【0054】以上のTMR膜を用いた素子をウエハから切り出し、磁気ディスク用のスライダ形状に加工し、ジンバルバネ付きのアームに組み込み、記録再生評価を行ったところ第5及び第6の実施形態例で得た結果となった。

【0055】第1～第7の実施形態例の各々の中で引例した各積層の組成については、第1の強磁性層は、Ni-Fe膜に限定されず、Fe、Co、Niの元素を含む合金であれば同様の結果が得られた。

【0056】また、第2の強磁性層は、Co-Fe膜に限定されず、Fe、Co、Niまたはそれらの元素を含む合金であれば同様の結果が得られる。

【0057】また、反強磁性層は、Ni-Mnに限定されず、Mn-X（XはCr、Fe、Co、Ni、Tc、Ru、Rh、Pd、Re、Os、Ir、Ptから選択される少なくとも1種類の元素を含む）を主成分とする合金であれば同様の結果が得られる。

【0058】また、TMR膜の下地膜は、Taに限定されず、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Siから選択される少なくとも1種類の元素を主成分とするならば、同様の結果が得られる。

【0059】また、磁気シールドは、CoTaZr膜に限定されず、Fe、Co、Niを主成分とする軟磁性合金、あるいは、Co-M（MはTi、V、Cr、Fe、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする非晶質軟磁性合金、あるいは、T-A-B（TはFe、Co、Niから選択される少なくとも1種類の元素、AはTi、V、Cr、Cu、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Si、Alから選択される少なくとも1種類の元素、BはB、C、N、Oから選択される少なくとも1種類の元素）を主成分とする軟磁性合金、あるいは、Fe-Si-Alを主成分とする軟磁性合金であれば、同様の結果が得られる。

【0060】
【発明の効果】本発明によれば、ヘッド材料として好ましい抵抗値を有するTMR膜素子を有し、高密度磁気記録再生に好適な磁気抵抗効果型複合ヘッドを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図2】本発明の第2の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図3】本発明の第3の実施形態例の磁気抵抗効果型複

合ヘッドの積層構成図。

【図4】本発明の第4の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。(a)は下シールド形成、(b)は下地/TMR成膜、(c)はTMRパタン化（絶縁/PM/非磁性絶縁膜成膜）、(d)は素子パタン化（絶縁膜は残す）、(e)は絶縁膜リフトオフ用レジストパタン形成、(f)は絶縁膜リフトオフ、(g)は絶縁膜穴開け、(h)は上シールド形成を示す。

【図5】本発明の第5の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図6】本発明の第6の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図7】本発明の第7の実施形態の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。(a)は下シールド形成、(b)は下地/TMR成膜、(c)はTMRパタン化（絶縁/PM/非磁性絶縁膜成膜）、(d)は素子パタン化（絶縁膜は残す）、(g)は絶縁膜穴開け、(h)は上シールド形成を示す。

【図8】本発明の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図9】本発明の実施形態例の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図10】従来の強磁性トンネル接合素子を用いた磁気抵抗効果型複合ヘッドの積層構成図。

【図11】従来の強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

【図12】従来の強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果型複合ヘッドの製造工程図。

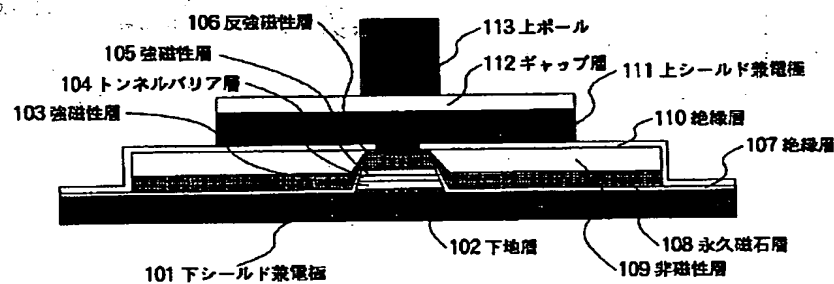
【符号の説明】

- 10 下地層
- 11 第1の強磁性層
- 12 導電層
- 13 純酸素の自然酸化により形成したトンネルバリア層
- 14 第2の強磁性層
- 15 反強磁性層
- 21 第1の強磁性層の表面酸化層
- 22 第1の強磁性層の還元領域
- 23 導電層下部表面の酸化層
- 24 純酸素の自然酸化により形成したトンネルバリア層
- 101 下シールド兼電極
- 102 下地層
- 103 強磁性層
- 104 トンネルバリア層
- 105 強磁性層
- 106 反強磁性層
- 107 絶縁層
- 108 永久磁石層
- 109 非磁性層

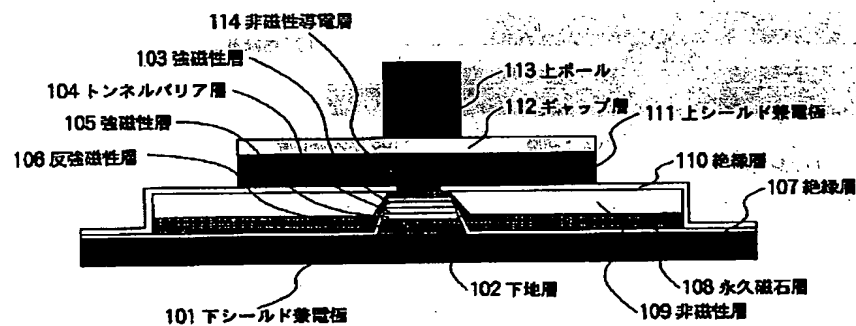
110 絶縁層
111 上シールド兼電極
112 ギャップ層
113 上ポール（磁極）
114 非磁性導電層
115 下シールド
116 上シールド
117 絶縁層
118 電極

119 TMR素子
1101 TMR膜
1102 フォトリソトマスク
1103 TMRパタン
1104 非磁性絶縁層
1105 永久磁石層
1106 非磁性層
1107 フォトリソトマスク
1108 絶縁層

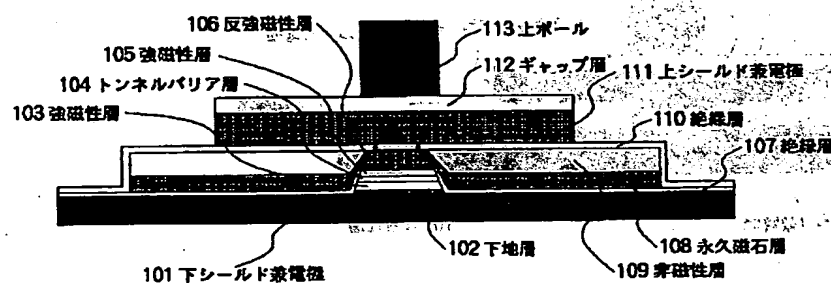
【図1】



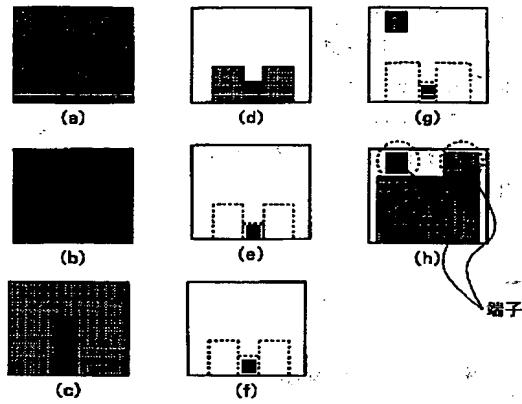
【図2】



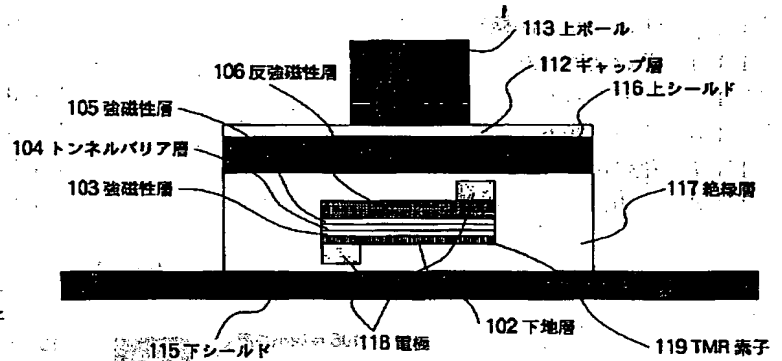
【図3】



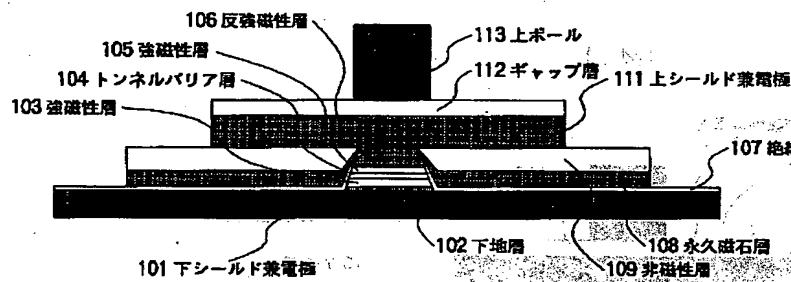
【図4】



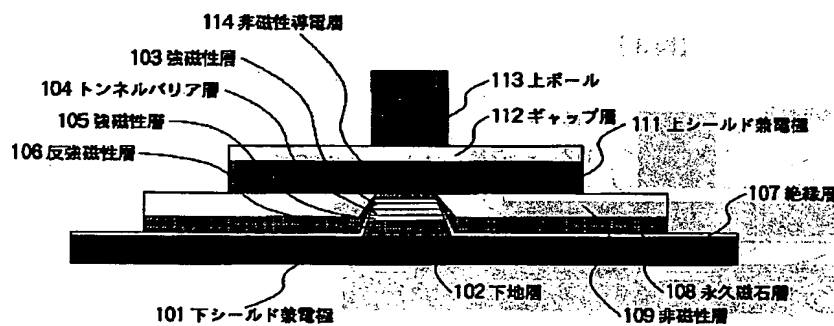
【図10】



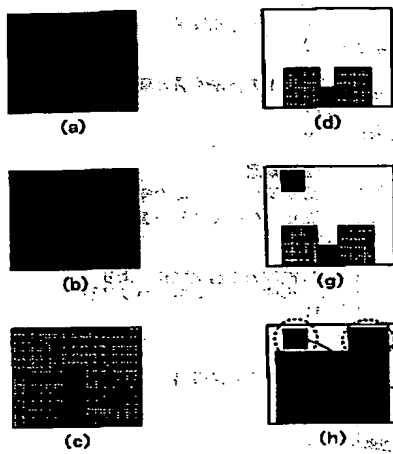
【図5】



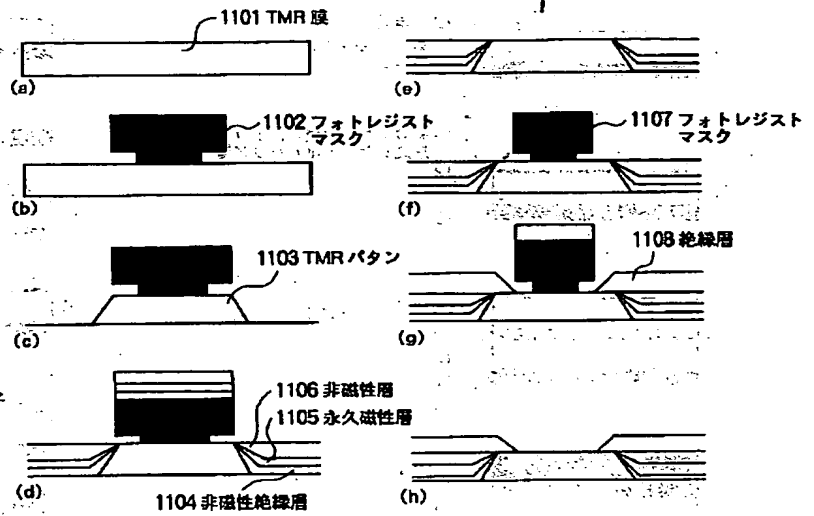
【図6】



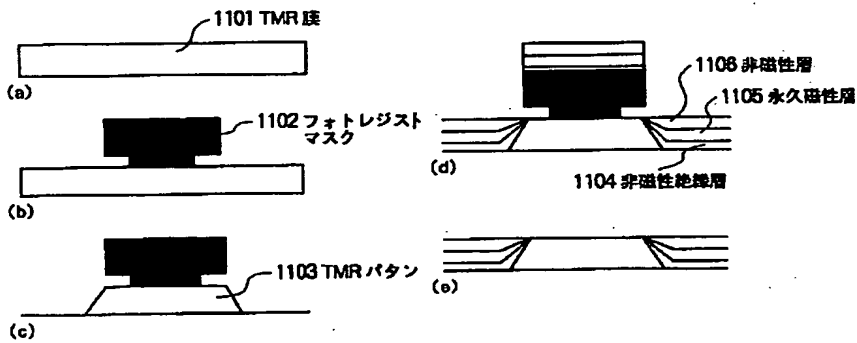
【図7】



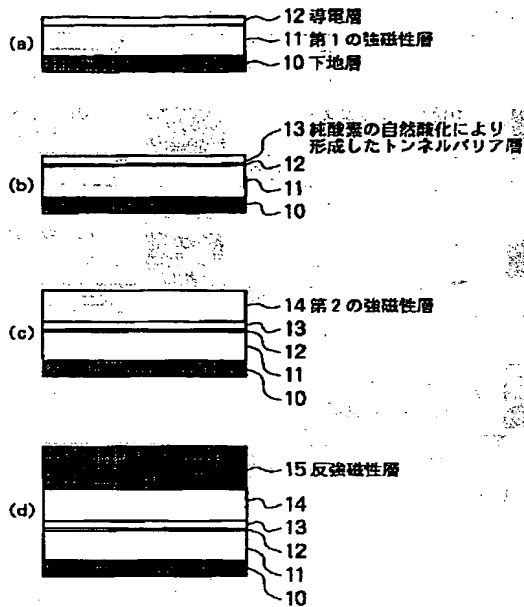
【図8】



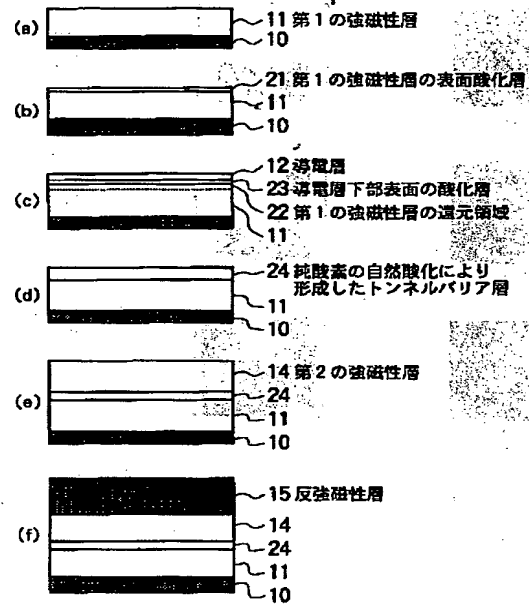
【図9】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(72) 発明者 塚本 雄二
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

(72) 発明者 中田 正文
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

(72) 発明者 上條 敦
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)